

Les mousses actives : une solution pour l'amélioration de l'absorption acoustique aux basses fréquences

Pierre Leroy, Philippe Herzog

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique
31 chemin Joseph-Aiguier
13402 Marseille CEDEX 20
E-mail : leroy@lma.cnrs-mrs.fr

Alain Berry, Noureddine Atalla

Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke
Faculté de Génie
Département de génie mécanique
2500 Blvd. Université
Sherbrooke (Québec) J1K 2R1
Canada
E-mail : alain.berry@usherbrooke.ca

Résumé

Les matériaux absorbants classiques ont l'inconvénient majeur d'être presque totalement inefficaces aux basses fréquences. Les mousses actives, qui sont formées d'une mousse absorbante et d'un actionneur intégré dans la mousse, ont été développées afin d'améliorer l'absorption acoustique aux basses fréquences. Cet article présente une mise en œuvre expérimentale de trois prototypes de mousse active. Les mousses actives sont réalisées avec de la mousse de mélamine et avec un polymère piézoélectrique (PVDF) comme actionneur. Trois méthodes de contrôle ont été testées expérimentalement en incidence normale avec l'hypothèse d'onde plane entre 100 et 1 500 Hz. Nous avons prouvé qu'il était possible d'absorber par contrôle actif une onde acoustique incidente monochromatique à 100 Hz dont le niveau de pression sonore est de 103dB. Dans le cas d'un bruit large bande, il est possible d'obtenir un coefficient d'absorption supérieur à 0,95 à partir de 300 Hz pour un niveau de pression sonore de l'onde incidente de 100 dB.

Abstract

The signal processing implementation of a hybrid passive/active absorber (smart foam) made up from the combination of a passive absorbent (melamine foam) and a bonded, curved PVDF film, to enhance low frequency performance is considered. Three methods for obtaining the control signal are experimentally compared in the case of a plane wave excitation. Three prototypes of such smart foam have been built and tested in a waveguide (rectangular impedance tube) at frequencies between 100 Hz and 1 500 Hz. We have proved that it is possible to absorb a 103 dB incident pressure at 100 Hz with a pure tone adaptive control. For a white noise perturbation, it is possible to achieve an absorption coefficient higher than 0.95 starting from 300 Hz for 100 dB incident pressure.

Les méthodes actives pour pallier le manque d'efficacité des matériaux passifs aux basses fréquences

L'amélioration de l'absorption des basses fréquences est une problématique importante de l'acoustique. Les matériaux passifs (poreux, fibreux, plaques perforées...) permettent d'obtenir des absorptions acoustiques importantes dans les moyennes et hautes fréquences (>1 000 Hz), là où l'absorption est principalement due à la dissipation par effet visqueux engendrée par la friction des molécules d'air du poreux sur le squelette du poreux. Les matériaux passifs sont très peu efficaces dans les basses fréquences (<1 000 Hz) car la dissipation par effet visqueux y est faible principalement à cause des conditions de montage qui les placent généralement à proximité d'une surface immobile qui bloque le déplacement des molécules d'air. L'idée majeure des techniques dites hybrides est de compenser les mauvaises performances des matériaux passifs dans les basses fréquences par un contrôle actif. Les techniques actives sont efficaces aux basses

fréquences, mais le temps de latence des contrôleurs et la répartition spatiale des sources à contrôler fixe une limite maximale de fréquence pour l'utilisation de ces techniques (~2 000 Hz). L'approche passive et l'approche active se voient donc complémentaires en ce qui concerne leur plage de fréquences d'efficacité respectives.

Un certain nombre de dispositifs combinant des matériaux absorbants passifs et les propriétés actives d'absorption de surfaces vibrantes ont été étudiés. On peut distinguer deux approches principales. Dans la première approche, l'actionneur est séparé de la face arrière du matériau passif absorbant par un espace d'air. L'actionneur peut être un haut-parleur ou une surface vibrante quelconque. Il existe alors plusieurs stratégies de contrôle permettant d'obtenir une absorption cible. La première est d'imposer, grâce à l'actionneur, une condition de pression nulle à l'arrière du matériau passif [1,2]. Cette condition permet de déterminer l'impédance de surface du matériau absorbant en fonction de son épaisseur et des propriétés absorbantes grâce à la

loi de Darcy. La deuxième stratégie de contrôle consiste à contrôler l'impédance de surface de l'actionneur à l'arrière de la mousse afin d'annuler la réflexion des ondes sur la face arrière du matériau absorbant [3,4]. Cette approche, déclinée sous ces deux stratégies de contrôle, a montré son efficacité pour les bruits large bande aléatoires à partir de fréquences relativement basses (>100 Hz). Toutefois, le fait que l'actionneur soit séparé du matériau absorbant entraîne un encombrement important et un poids non négligeables du système en fonction du type d'actionneur. Dans l'industrie du transport, les contraintes d'encombrement et de poids tendent à défavoriser cette première approche. La deuxième approche d'absorbeur hybride a été développée pour pallier ces problèmes. L'idée est d'intégrer des actionneurs très légers directement dans le matériau absorbant. On parle alors de «mousse active» ou encore «*smart foam*» en anglais [5,6,7]. Les actionneurs qui ont été employés pour l'instant sont tous des matériaux piézoélectriques. La majeure partie des études a été faite avec des membranes polymères très fines (polyvinylidène fluorure : PVDF), mais les fibres piézoélectriques ont aussi été testées [7].

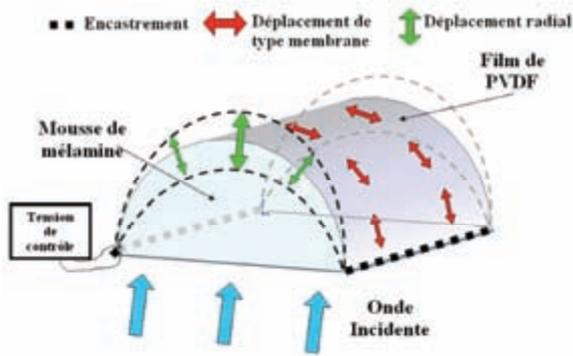


Fig. 1 : Schématisation et mécanismes d'actuation d'une mousse active
Schematics of the smart foam and actuation mechanism

La figure 1 présente une schématisation de la mousse active et le principe d'actuation du PVDF que nous avons utilisé. Il est assez similaire au principe proposé dans la littérature [5] à la différence près que, dans notre mousse active, le film PVDF n'est pas enserré dans la mousse, mais il est placé sur la surface arrière de la mousse. En effet, pour le contrôle de l'absorption, comme le PVDF est étanche, la mousse placée à l'arrière du PVDF ne participe que très peu à l'absorption et vient plutôt contraindre le déplacement de la mousse. Le PVDF est un film piézoélectrique qui génère une déformation mécanique dans son plan lorsqu'il est soumis à une différence de potentiel électrique dans son épaisseur. La courbure donnée au PVDF sert à transformer le déplacement de type membrane en déplacement radial capable de modifier la propagation des ondes acoustiques incidente et réfléchi.

Dans cet article, les mousses actives sont étudiées essentiellement pour leur propension à l'amélioration de l'absorption acoustique. Un des intérêts majeurs des mousses actives réside dans le fait qu'elles sont également utilisables pour le contrôle du rayonnement

acoustique des surfaces vibrantes et pour le contrôle de la transmission acoustique, deux domaines pour lesquels les matériaux passifs sont efficaces aux hautes fréquences mais très peu aux basses fréquences.

Méthodologie

Trois prototypes de mousse active basés sur le principe présenté par la figure 1 ont été réalisés et testés dans un tube d'impédance de 1 mètre de longueur sous l'hypothèse d'onde plane (figure 2). Une perturbation est créée par un haut-parleur à une extrémité du tube. La mousse active est placée à l'autre extrémité dans le but de créer autant que possible une terminaison anéchoïque.

Trois cas de contrôle ont été étudiés. Ces trois cas utilisent comme capteur d'erreur un microphone unidirectionnel placé au centre de la section du tube, à 200 mm de la surface avant de la mousse active. Ce microphone permet d'avoir une estimation de la pression réfléchiée par la mousse. Une étude sur l'influence de la position du microphone unidirectionnel (non présentée ici) a pu montrer que ce dernier pouvait être placé très près de la mousse (5 mm) sans ou avec très peu de dégradation des résultats de contrôle. Le premier cas de contrôle est un contrôle en boucle ouverte. L'identification du filtre de contrôle se fait par la mesure préliminaire des fonctions de transfert entre le microphone unidirectionnel et les sources primaire et secondaire. Le deuxième cas est un contrôle adaptatif en temps réel d'une perturbation harmonique utilisant l'algorithme nFX-LMS. Enfin, le troisième cas de contrôle est aussi un contrôle adaptatif temps réel avec l'algorithme nFX-LMS, mais cette fois-ci la perturbation est un bruit blanc. La plage de fréquence d'étude va de 100 Hz à 1500 Hz.

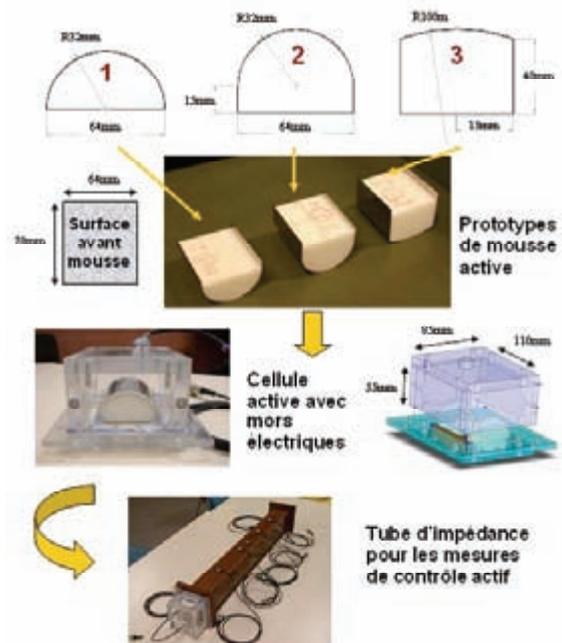


Fig. 2 : Les 3 prototypes de mousse active (dimensions données en mm)
3 smart foam prototypes (dimensions are given in mm).

L'efficacité de la commande est évaluée en mesurant le coefficient d'absorption de la mousse active [8,9]. La mesure du coefficient d'absorption utilise une méthode à quatre doublets microphoniques répartis dans le tube (figure 2).

Les trois prototypes de mousse active

Trois géométries différentes de mousse active ont été réalisées (figure 2). D'un point de vue contrôle actif, il est primordial d'avoir le transducteur le plus efficace possible. Il faut donc chercher à maximiser l'amplitude du déplacement généré par le PVDF. Une solution consiste à maximiser la surface de PVDF dans l'axe où l'on cherche à avoir le maximum de déplacement. Les mousses actives 2 et 3 ont été fabriquées dans cette optique. Les trois prototypes sont constitués de mousse de mélamine recouverte sur une face par du PVDF. Le PVDF est fixé sur la face arrière de la mousse ayant une forme courbe. Une membrane thermocollante est appliquée sur la mousse afin de boucher les pores et de permettre un collage efficace du PVDF avec du scotch double face. On laisse dépasser des lamelles de PVDF qui seront ensuite encastrées dans les mors électriques d'une petite cavité (cavité arrière). Des flasques de plexiglass sont placés sur le côté de la mousse et scotchés au PVDF afin d'assurer l'étanchéité entre la cavité arrière et le tube. L'ensemble mousse active + cavité arrière constitue ce que l'on nommera une cellule (figure 2). La surface apparente de mousse (qui reçoit l'onde incidente) est identique pour tous les prototypes : 78mm X 58mm.

	Prototype 1	Prototype 2	Prototype 3
Volume de mousse (cm ³)	125	200	225
Épaisseur moyenne (cm)	2,5	4	4,4
Surface de PVDF (cm ²)	78	101	115
Rayon de courbure du PVDF (cm)	3,2	3,2	10

Tabl. 1 : Caractéristiques des prototypes de mousse active
Smart foam prototypes characteristics.

Pour chaque cellule, le volume et l'épaisseur moyenne de mousse, la surface et le rayon de courbure du PVDF sont résumés dans le tableau 1. Le volume de mousse, l'épaisseur moyenne et la surface de PVDF augmente avec le numéro du prototype de mousse active. L'augmentation du volume et de l'épaisseur de mousse doit favoriser l'absorption passive alors que l'augmentation de la surface de PVDF est sensée augmenter la capacité de transduction de l'actionneur, autrement dit augmenter le rayonnement acoustique de la mousse active pour une même tension appliquée.

Dans notre montage, quand une tension positive est appliquée aux bornes du PVDF, ce dernier se contracte. Il se dilate pour une tension négative. Le PVDF utilisé fait 28 micromètres d'épaisseur et comporte des électrodes en alliage de cuivre et nickel. Les spécifications sont données sur le site du fabricant : http://www.meas-spec.com/myMeas/download/pdf/english/piezo/metallized_piezo_film_sheets.pdf.

Contrôle en «boucle ouverte» avec une somme de cosinus

L'expression « contrôle en boucle ouverte » signifie que le filtre de contrôle est calculé préalablement à la mise en route du contrôle et reste identique pendant toute la durée du contrôle. La variabilité temporelle des systèmes peut donc dégrader la qualité du contrôle au cours du temps.

Calcul du filtre

Le calcul du filtre de contrôle générant la commande optimale de la mousse active suppose la linéarité des sources et des équations gouvernant le système. Il repose sur l'utilisation du principe de superposition linéaire des sources (la mousse active est une source). D'après ce principe il est possible de décomposer le système complet (source primaire et mousse active en fonctionnement) en deux sous-systèmes ou états d'excitation : «primaire» noté avec la lettre p (source primaire en fonctionnement et mousse active à l'arrêt) + «secondaire» noté avec la lettre s (source primaire à l'arrêt et mousse active avec PVDF alimenté). Des sinus purs sur la plage de fréquence [100 Hz-1 500 Hz] sont alternativement envoyés dans la source primaire et la source secondaire. Les fonctions de transfert (Hp et Hs) entre la source en fonctionnement correspondant à l'état d'excitation primaire ou secondaire et le microphone unidirectionnel (pression réfléchiée) sont mesurées (figure 3). Le filtre de contrôle (Hc) calculé dans le domaine fréquentiel est obtenu à partir des fonctions de transfert primaire et secondaire par l'équation suivante :

$$H_c(\omega) = -\frac{H_p(\omega)}{H_s(\omega)} \tag{1}$$

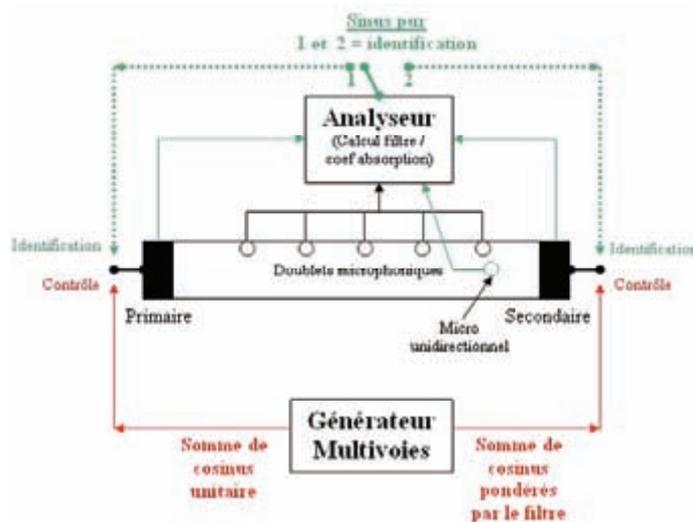


Fig. 3 : Montage expérimental pour le contrôle en boucle ouverte
Experimental setup-up for off-line control

Vérification du filtre calculé

Pour vérifier l'efficacité du filtre en situation de contrôle, une somme de cosinus d'amplitude 1 est envoyée dans la source primaire. Une somme de cosinus pondérés en amplitude et en phase par le filtre de contrôle (Hc) est envoyée dans la mousse active. La somme de cosinus

utilisée est à phase aléatoire afin de maximiser la densité spectrale de puissance du signal temporel. Les termes de la somme sont séparés d'un intervalle de 10 Hz et la somme est comprise entre 100 Hz et 1 500 Hz.

Contrôle adaptatif

L'algorithme nFX-LMS est utilisé pour le contrôle adaptatif. Il est dérivé du classique FX-LMS [10,11,12]. L'algorithme nFX-LMS minimise un signal d'erreur (ici pression réfléchie) grâce au microphone unidirectionnel. Cette minimisation est rendue effective par le calcul et l'application d'une commande de contrôle basée sur les informations fournies par le capteur d'erreur et le capteur de référence. Le capteur de référence renseigne sur la perturbation à venir (figure 4). Dans notre montage, il n'y a pas de capteur de référence à proprement dit et le signal de référence est pris directement à l'entrée de la source primaire.

Deux types de perturbation sont utilisés. La première est une fréquence pure balayée par pas de 10 Hz sur la plage de fréquences [100-1 500 Hz], avec 0,5 seconde de temps d'émission par fréquence (temps d'adaptation du contrôleur). Le deuxième type de signal est un bruit blanc dans la bande de fréquences [0-1 500 Hz]. La fréquence d'échantillonnage du contrôle est de 4 069 Hz et la fréquence de coupure est de 1 590 Hz. L'algorithme utilise des filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF) possédant 400 coefficients pour l'identification du chemin de contrôle secondaire, 20 coefficients pour le filtre de contrôle en perturbation sinusoïdale, et 300 coefficients pour le filtre de contrôle en perturbation large bande.

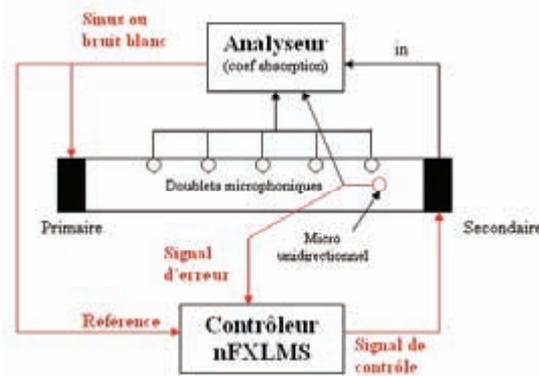


Fig 4 : Montage expérimental pour le contrôle adaptatif
Experimental set-up for adaptive control experiments

Résultats

Les résultats détaillés sont seulement présentés pour la cellule 3. Les cellules seront ensuite comparées en utilisant les absorptions passives et les tensions de contrôle normalisées obtenues dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire dans le cas du contrôle adaptatif avec un sinus pur.

Résultats détaillés pour la cellule 3

Les coefficients d'absorption passif et actif (figure 5) ainsi que les tensions de contrôle normalisées par la pression incidente à la surface de la mousse (figure 6) sont présentés ici pour la cellule 3.

Le contrôle en boucle ouverte d'une somme de cosinus et le contrôle adaptatif d'un signal harmonique donnent de très bons résultats avec un coefficient d'absorption très proche de 1 sur toute la gamme de fréquence [100-1 500 Hz] (figure 5). Le contrôle adaptatif large bande, qui est le cas de contrôle le plus difficile, ne permet pas d'atteindre d'aussi bons résultats. Le coefficient d'absorption est proche de 1 sur la bande de fréquence [300-1 100 Hz], il chute à 0,5 en-dessous de 300 Hz et est perturbé au-dessus de 1 100 Hz avec une valeur voisine de 0,8. Le contrôle adaptatif large bande est intéressant pour cette mousse active car l'absorption active rejoint l'absorption passive vers 1 100 Hz, là où l'absorption passive est supérieure à 0,95. En coupant le contrôle à cette fréquence, l'absorbeur ainsi formé aurait un coefficient d'absorption supérieur à 0,9 à partir de 300 Hz.

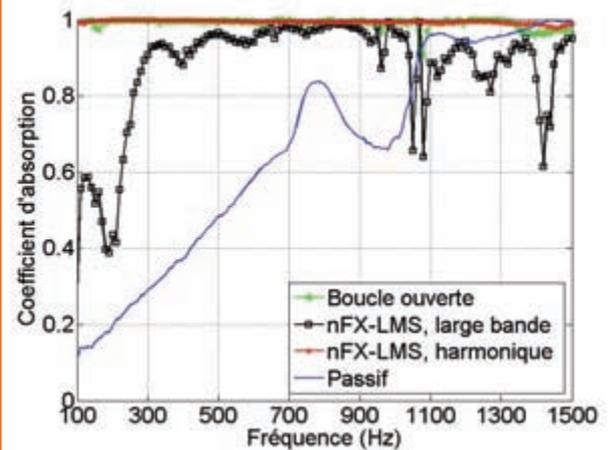


Fig. 5 : Absorptions passive et actives de la cellule 3
Passive and active absorption coefficient of the smart foam 3

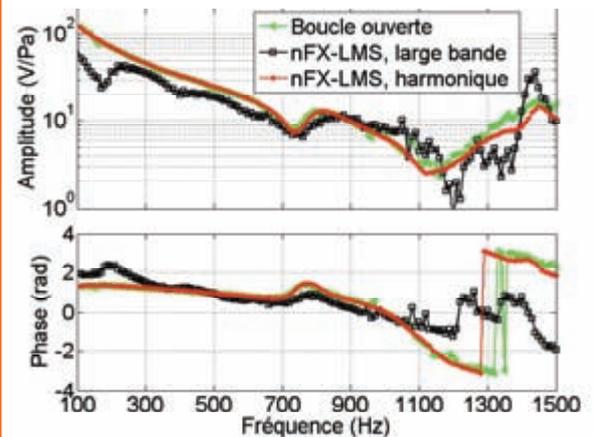


Fig. 6 : Tensions de contrôle normalisées de la cellule 3
Normalized control inputs of the smart foam 3

Les tensions de contrôle normalisées sont assez similaires quel que soit le cas de contrôle (figure 6). La tension de contrôle normalisée est l'expression intrinsèque de l'efficacité de contrôle des mousses actives et elle ne devrait pas être affectée par le cas de contrôle. Sur la figure 6, on constate pourtant que la tension de contrôle obtenue dans le cas du contrôle adaptatif en large bande

diffère légèrement des autres tensions de contrôle là où le coefficient d'absorption n'est pas proche de 1, c'est-à-dire en-dessous de 300 Hz et au-dessus de 1 100 Hz. En-dessous de 300 Hz, l'efficacité de rayonnement de la mousse active est relativement faible dans les basses fréquences et son niveau de distorsion est assez élevé (-10 dB). Dans les basses fréquences, le niveau à fournir pour atteindre un contrôle optimal est relativement important. En essayant de fournir ce niveau, la mousse active génère des harmoniques à plus hautes fréquences non intégrées dans le signal de référence et par conséquent non contrôlables. Afin de ne pas trop détériorer le contrôle aux hautes fréquences, le contrôleur diminue l'amplitude de la commande de contrôle et change la phase aux basses fréquences. Il y a un équilibre qui se forme alors entre les hautes fréquences et les basses fréquences dans le but d'atteindre un maximum de puissance absorbée, ou plutôt un minimum de puissance réfléchi. Ce minimum accessible par le contrôle dépend entre autres du nombre d'échantillons utilisés par le filtre (FIR) de contrôle, nombre qui dépend directement du temps d'anticipation du contrôleur. Ce temps d'anticipation est dépendant du temps de latence des contrôleurs et du placement du capteur de référence.

La phase de la tension de contrôle normalisée par la pression incidente sur la surface nous renseigne sur le mode d'action du PVDF. Dans les basses fréquences, la phase est proche de $\pi/2$. Sachant que la pression est en retard de $\pi/2$ sur le déplacement particulière, le PVDF se déplace donc en phase avec les molécules d'air à la surface de la mousse. Dans les basses fréquences, la mousse active agit donc exactement comme un haut-parleur qui est contrôlé pour maximiser l'absorption. Quand la fréquence augmente, l'absorption passive de mousse est de plus en plus importante et le PVDF doit générer un déplacement moins important correspondant au déplacement de l'onde incidente qui n'a pas été passivement dissipée dans la mousse.

Comparaison des performances des trois cellules

La comparaison des absorptions passives (figure 7) montre que les mousses actives 2 et 3 dominent largement la mousse adaptative 1 sans contrôle. Ceci peut être

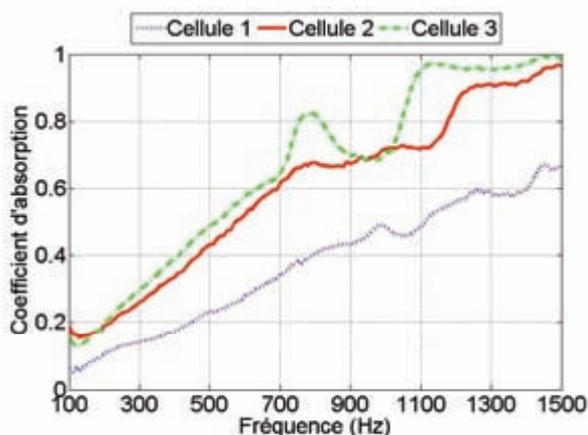


Fig. 7 : Absorption acoustique passive des trois cellules
Passive acoustic absorption of the 3 smart foam prototypes

mis directement en relation avec l'épaisseur moyenne et le volume de mousse des différentes configurations. L'absorption passive fixe la limite haute fréquence jusqu'à laquelle le contrôle doit fonctionner (dépendamment du seuil à atteindre sur le coefficient d'absorption). Si l'on fixe par exemple un seuil minimum de 0,95 pour le coefficient d'absorption, la cellule 1 devra contrôler au-dessus de 1 500 Hz, la cellule 2 jusqu'à 1 500 Hz et la cellule 3 jusqu'à 1 100 Hz. La limite haute fréquence de fonctionnement du contrôle des mousses actives est un paramètre important à ne pas négliger.

En situation de contrôle optimal, pour une même pression incidente, la cellule demandant le moins de tension électrique d'alimentation est globalement la cellule 2 (figure 8). La mousse active 2 a pourtant une surface de PVDF inférieure à la mousse 3. On voit donc qu'il n'y a pas que la surface de PVDF qui impacte l'efficacité des mousses actives, la forme et le comportement modal de la mousse (ici mélamine) a aussi une forte influence. Le mode d'action des mousses actives qui est de contraindre le PVDF et la mousse à se déplacer en phase avec les molécules d'air à la surface de la mousse, induit le fait que l'efficacité de contrôle est intimement liée au débit acoustique des mousses actives

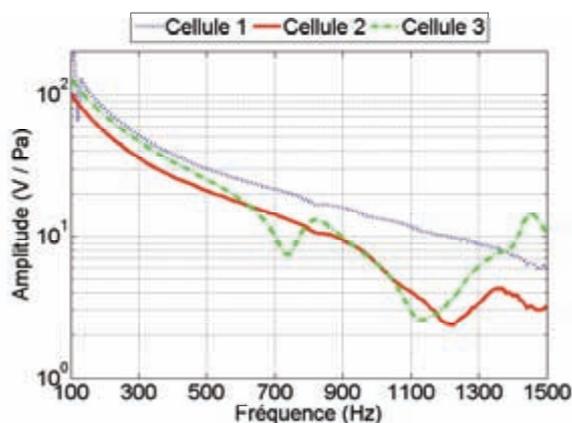


Fig. 8 : Tensions de contrôle normalisées par la pression incidente sur la surface de la mousse dans le cas de contrôle de type adaptatif avec une perturbation harmonique
Normalized driven voltages obtained with the three smart foam prototypes for an adaptive control using a pure tone as excitation

La tension maximale applicable aux bornes du PVDF est environ de 300 Vrms. Étant donné que la cellule 2 a besoin de 100 Vrms pour absorber 1Pa rms (93 dB) à 100 Hz, le niveau de pression le plus élevé que cette cellule pourrait absorber est 103 dB à 100 Hz. Ce niveau serait de 114 dB à 300 Hz. C'est un niveau relativement important, mais valable uniquement pour une fréquence pure. Pour le contrôle le plus réaliste, c'est-à-dire le contrôle adaptatif large bande, les mousses actives 2 et 3 offrent de belles potentialités. Il est possible d'obtenir un coefficient d'absorption supérieur à 0,95 à partir de 250 Hz et ce pour une onde incidente de 91 dB sans pour autant avoir atteint la limite de tension supportée par le PVDF. On peut donc espérer absorber une onde incidente de 100 dB en large bande en utilisant le PVDF au maximum de ces capacités (300 Vrms).

Les paramètres importants pour l'optimisation

L'absorption passive est un des paramètres importants car elle détermine la gamme de fréquences dans laquelle le contrôle doit fonctionner. Ainsi, plus l'absorption passive est importante et plus la fréquence de coupure du contrôleur pourra être basse. Même si la cellule 3 est moins efficace que la cellule 2 en contrôle dans les basses fréquences, ce prototype a l'avantage d'avoir un coefficient d'absorption proche de 1 à partir de 1 100 Hz.

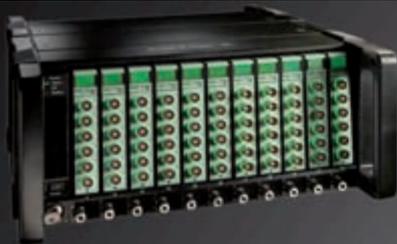
La distorsion des mousses actives aux basses fréquences est un paramètre limitant. La distorsion peut avoir quatre origines principales : 1) la courbure du PVDF, 2) les défauts de réalisation (collage, dissymétries, encastrement), 3) les modes de résonance de l'ensemble mousse + PVDF et 4) le comportement non linéaire des matériaux constitutifs. Ceci engendre la génération d'harmoniques à plus hautes fréquences. Ces harmoniques rayonnent plus facilement dans les hautes fréquences que dans les basses à cause de l'efficacité de rayonnement plus importante du film de PVDF dans les hautes fréquences. L'efficacité de rayonnement est directement liée à la dimension de la source en champ libre. Ces harmoniques rayonnées par

la mousse active, c'est-à-dire la source de contrôle, sont difficilement contrôlables car elles ne sont pas présentes dans le signal de référence. On comprend alors que la distorsion vient à la fois limiter le contrôle des basses fréquences mais aussi des hautes fréquences. Plus le contrôleur cherche à minimiser la pression réfléchie dans les basses fréquences et plus il détériore le contrôle dans les hautes fréquences. Un juste équilibre entre les hautes et les basses fréquences s'établit. Cet équilibre est déterminé par la minimisation dans le domaine temporel de la densité spectrale de puissance de la pression réfléchie.

Un autre point important réside dans le temps d'anticipation du contrôleur, autrement dit dans la nature et la position du capteur de référence et du capteur d'erreur. Il est possible d'améliorer la qualité du contrôle adaptatif large bande au-dessus de 300 Hz en augmentant le temps d'anticipation du contrôleur.

En termes d'efficacité de contrôle, la géométrie de la mousse active 2 est la plus performante. Bien qu'ayant une surface de PVDF inférieure à celle de la mousse 3, la mousse active 2 peut contrôler une pression incidente supérieure pour une tension d'alimentation donnée.

PULSE LAN-XI Acoustique & Vibrations



De 2 à plus de 1 000 voies avec le même système !

Augmentez votre flexibilité grâce à une modularité unique au monde! Chaque module LAN-XI peut être utilisé soit seul, soit intégré à un châssis, soit faire partie d'un système distribué... Instrumentez ainsi votre spécimen au plus près, et évitez des mètres de câbles onéreux, des heures de câblage, de vérification et parfois de frustration...

Un seul et unique câble

Incroyablement robuste et léger (750 gr), le PULSE LAN-XI répond parfaitement aux exigences et contraintes des essais effectués sur le terrain comme en laboratoire... L'alimentation, la synchronisation et le transfert des données s'effectuent au travers d'un seul et unique câble LAN !

De plus, les faces "avant" du LAN-XI sont interchangeables : passez de LEMO à BNC en quelques secondes !

Flexibilité, Mobilité et Performance...

PULSE LAN-XI est équipé des dernières technologies disponibles sur le marché (PoE, PTP, Dyn-X, Req-X). Découvrez les autres avantages de ce système "nouvelle génération" sur notre site www.bksv.fr.



Ceci indique que l'efficacité et donc l'optimisation des mousses actives sont fortement reliées à la forme du PVDF ainsi qu'à la forme et aux propriétés de la mousse. On comprend bien que la variabilité des géométries et des formes rend toute optimisation empirique particulièrement longue et délicate. Un code numérique par élément fini 3D pour la modélisation des mousses actives a été développé afin d'approfondir la compréhension des phénomènes physiques impliqués dans le contrôle et la dissipation, mais aussi de permettre de mener une étude prospective d'optimisation de la forme et des propriétés des matériaux absorbants employés. La présentation vulgarisée de ce code est donnée sur internet à l'adresse :

<http://www.acoustics.org/press/155th/leroy.htm>.

L'apparition de nouveaux types d'actionneurs potentiellement utilisables dans la conception des mousses actives, comme les électro-élastomères ou polymères diélectriques [13], pourraient permettre d'envisager un gain d'efficacité considérable sur les niveaux de pression incident contrôlables. Toutefois, les problèmes liés aux non-linéarités risquent d'apporter leur lot de contraintes et de limitations.

Conclusion

Cette étude expérimentale vise la compréhension du comportement et des limitations de trois prototypes de mousse active. Pour ce qui est du mécanisme de contrôle dans les basses fréquences, il apparaît que le déplacement de l'actionneur doit être en phase avec le déplacement particulière de l'air à la surface de la mousse.

Il est possible d'absorber une pression incidente de 103 dB à 100 Hz en contrôle adaptatif avec une fréquence pure. Avec un bruit blanc, il est possible d'avoir un coefficient d'absorption supérieur à 0,95 à partir de 300 Hz pour une pression incidente de 100 dB. Quatre paramètres sont fondamentaux dans la conception et l'optimisation des mousses actives. Le premier est l'absorption passive. Elle détermine la plage d'utilisation du contrôle. Le deuxième est le débit de la mousse active qui détermine l'efficacité du contrôle et l'amplitude maximale de pression que la mousse active peut absorber. Les troisième et quatrième paramètres concernent particulièrement le cas de contrôle adaptatif en large bande.

Le troisième paramètre est le niveau de distorsion dans les basses fréquences qui limite le contrôle des basses et hautes fréquences. Enfin le dernier paramètre est le temps d'anticipation octroyé au contrôleur. Les trois premiers paramètres sont directement liés à la configuration géométrique, ce qui souligne encore une fois le fait qu'une modélisation numérique fiable est nécessaire pour l'optimisation géométrique. L'utilisation de nouveaux types d'actionneur (polymères diélectrique, électro-élastomères) pourraient permettre des gains d'efficacité importants.

Les mousses actives peuvent trouver des applications pratiques dans les traitements acoustiques liés à l'industrie du transport (trains, voitures, avions, tunnels, autoroutes...) mais aussi dans les traitements acoustiques impliqués dans l'industrie du bâtiment.

Remerciements

Ce travail a été en partie financé par le réseau de centres d'excellence canadien Auto21 et fait partie du projet «PARABAS» (ANR-06-BLAN-0081). Nous tenons à remercier Alain Roure du LMA pour son support technique.

Références bibliographiques

- [1] M. Furstoss, D. Thenail et M.A. Galland, «Surface impedance control for sound absorption: direct and hybrid passive/active strategies», *Journal of Sound and Vibration*, 203, 219 – 236 (1997)
- [2] M.A. Galland, N. Sellen et B. Mazeaud, «Hybrid passive/active absorbers for flow ducts», *Applied Acoustics*, 6, 691 - 708 (2005)
- [3] P. Cobo, J. Pfretzschner, M.Cuesta et D.K. Anthony, «Hybrid passive-active absorption using microperforated panels», *Journal of the Acoustical Society of America*, 116, 2118 - 2125 (2004)
- [4] J. Yuan, «Causal impedance matching for broadband hybrid noise absorption», *Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 3226 - 3234 (2003)
- [5] C. Guigou, C.R. Fuller, «Control of aircraft interior broadband noise with FOAM-PVDF smart skin», *Journal of Sound and Vibration*, 220, 541-557, (1998)
- [6] C. Guigou, C.R. Fuller «Adaptive feedforward and feedback methods for active/passive sound radiation control using smart foam», *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 226 - 234 (1998)
- [7] W.N. Aki, A.M. Baz, Y. Whang, J. Zhu et M. Zhang, «Smart foam for active vibration noise control», *NOISE-CON 2004*, 164 - 173 (2004)
- [8] ASTM E1050, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones, and a digital frequency analysis system
- [9] H. Boden, M. Abom, «Influence of Errors on the Two Microphones Method for Measuring Acoustic Properties in Ducts», *Journal of the Acoustical Society of America*, 79, 541- 54 (1986)
- [10] P.A. Nelson, S.J. Elliott, «Active Control of Sound», Academic Press, London (1992)
- [11] C. R. Fuller, P.A. Nelson, S.J. Elliott, «Active Control of Vibration », Academic Press, London (1996)
- [12] S.J. Elliott, «Signal processing for active control», ISRV, University of Southampton (2001)
- [13] R. Pelrine, J. Kornbluch, R. Heydt, Q. Pei, S. Chiba «Highfield deformation of elastomeric dielectrics for actuators», *Material Science and Engineering*, 2, 11, 89-100 (1987)